



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt



(10) **DE 103 15 282 A1** 2004.10.28

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 15 282.2**
(22) Anmeldetag: **03.04.2003**
(43) Offenlegungstag: **28.10.2004**

(51) Int Cl.⁷: **H01F 7/18**

(71) Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:
**Bolz, Stephan, 93102 Pfatter, DE; Lugert, Günter,
Dr., 93055 Regensburg, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 197 55 957 C2
DE 197 42 283 A1
DE 100 51 310 A1
DE 43 41 797 A1
DE 38 10 154 A1
DE 37 33 091 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

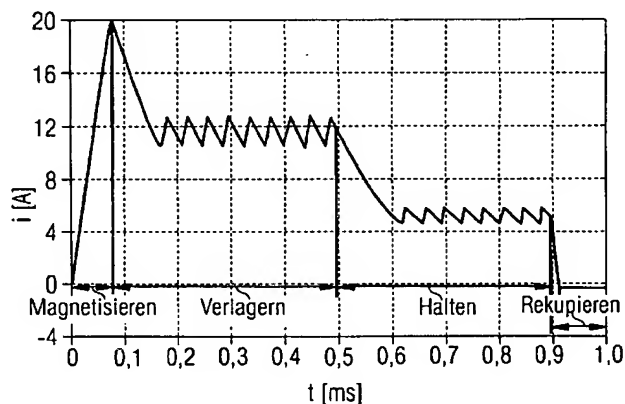
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Schaltungsanordnung und Verfahren zur Ansteuerung eines bistabilen Magnetventils**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung zur Ansteuerung eines bistabilen Magnetventils, bei dem eine Magnetspule mit einem elektrischen Strompuls zu versorgen ist, um das Magnetventil von einem ersten stabilen Ventilzustand in einen zweiten stabilen Ventilzustand umzuschalten, umfassend eine Versorgungsspannungsquelle zur Bereitstellung einer Versorgungsspannung, eine von der Versorgungsspannungsquelle gespeiste und für die Dauer des Strompulses durch ein eingegebenes Ansteuersignal aktivierbare Stromversorgungseinrichtung zum Erzeugen eines durch die Magnetspule fließenden Spulenstroms (i), wobei der Spulenstrom (i) auf einen Sollwert eingestellt wird, wobei Umstellmittel vorgesehen sind, um den Sollwert des Spulenstroms während des Strompulses zu verringern.

Ferner betrifft die Erfindung ein entsprechendes Ansteuerungsverfahren.

Damit lässt sich vorteilhaft die Verlustleistung der Ansteuerung von bistabilen Magnetventilen reduzieren.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung sowie ein Verfahren zur Ansteuerung eines bistabilen Magnetventils, bei dem eine Magnetspule mit einem elektrischen Strompuls zu versorgen ist, um das Magnetventil von einem ersten stabilen Ventilzustand in einen zweiten stabilen Ventilzustand umzuschalten. Solche bistabilen Magnetventile zeichnen sich dadurch aus, dass sie in den stabilen Zuständen keinen Steuerstrom benötigen, sondern lediglich zum Umschalten einen Steuerstrom (Strompuls) benötigen.

[0002] Bistabile Magnetventile werden beispielsweise für schnell schaltende Hydraulikaktoren und hydraulisch verstärkte Servoventile in Kraftfahrzeugen eingesetzt. Ein zum Öffnen und Schließen einer Hydraulikpassage eingesetztes Magnetventil kann hierbei durch magnetische Remanenzkräfte eines Flussleitungsteils (Joch) in einer jeweiligen Endposition gehalten werden. Um die erforderlichen Haltekräfte gering zu halten, sind solche Ventile üblicherweise druckkompensiert, so dass der Hydraulikdruck dabei keine Kraft im Sinne einer Betätigung des Ventils ausübt ("druckkompensierte Ventile").

Stand der Technik

[0003] Fig. 1 zeigt schematisch den prinzipiellen Aufbau eines bekannten bistabilen Magnetventils (Internetauftritt unter www.sturmanindustries.com, November 2002). Das Magnetventil 1 besitzt ein Gehäuse 3, durch welches hindurch Hydraulikkanäle 5, 7 und 9 in das Innere des Gehäuses 3 verlaufen. Im Inneren des Gehäuses 3 ist ein Magnetanker 11, bei derartigen Ventilen auch als Ventilnadel oder "Spool" bezeichnet, verschiebbar geführt.

[0004] In Fig. 1 befindet sich der Magnetanker 11 in seiner linken Endposition. In dieser Position stehen sämtliche Hydraulikkanäle 5, 7 und 9 über geeignet angeordnete Kanäle im Inneren des Magnetankers 11 (nicht dargestellt) miteinander in Fluidverbindung (Ventil offen), wohingegen in einer rechten Endposition des Magnetankers 11 diese Hydraulikkanäle 5, 7 und 9 voneinander getrennt sind (Ventil zu).

[0005] Um den Magnetanker 11 zwischen seinen zwei stabilen Positionen umzuschalten, besitzt das Magnetventil 1 zwei Magnetwicklungen bzw. Magnetspulen 13 und 15, die mit einem elektrischen Strompuls versorgt werden, um den Magnetanker 11 einerseits zum Öffnen des Ventils 1 nach links zu ziehen (Magnetspule 13) und andererseits zum Schließen des Ventils 1 nach rechts zu ziehen (Magnetspule 15). Der durch die Magnetspulen 13 und 15 hervorgerufene magnetische Fluss wird in bekannter Weise mittels Flussführungsteilen 17 und 19, die wie der Magnetanker 11 aus weichmagnetischem Material

gebildet sind, geführt und verstärkt.

[0006] Typische Anwendungen für derartige bistabile Magnetventile sind elektrohydraulische Einrichtungen in Kraftfahrzeugen, beispielsweise hydraulisch verstärkte Dieseleinspritzventile und hydraulisch betätigte Ventiltriebe (Ein/Auslassventile) für Brennkraftmaschinen.

[0007] Eine auf internen Entwicklungen der Anmelderin beruhende Schaltungsanordnung zur Ansteuerung eines bistabilen Magnetventils, wie des in Fig. 1 gezeigten Magnetventils 1, ist in Fig. 2 dargestellt, wobei der Einfachheit halber lediglich der Schaltungsteil zur Bestromung von einer Magnetspule 13 eines bistabilen Magnetventils in Fig. 2 gezeigt ist. In der Praxis wird ein identischer Schaltungsteil zur Ansteuerung der zweiten Magnetspule verwendet.

[0008] In Fig. 2 erkennt man eine Versorgungsspannungsquelle zur Bereitstellung einer Versorgungsspannung U_v , die im dargestellten Ausführungsbeispiel 48V beträgt und beispielsweise die Ausgangsspannung eines DC/DC-Spannungswandlers einer Bordspannungsversorgung in einem Kraftfahrzeug darstellt.

[0009] Die Magnetspule 13 ist in Fig. 2 durch ihr Ersatzschaltbild (Induktivität L_{coil} und ohmscher Widerstand R_{coil}) dargestellt. Typische Werte sind $L_{coil} = 150\mu H$ und $R_{coil} = 1\Omega$. Der zum Umschalten des Magnetventils verwendete Strompuls (Spulenstrom) hat eine Dauer von typisch 1ms und einen Spitzenwert von etwa 20A. Um diesen Spitzenwert des Spulenstroms zu erreichen, wäre bei dem genannten Wert von R_{coil} eine Spannung von etwa 20V ausreichend. Um den Spulenstrom zu Beginn des Strompulses jedoch schnell aufzubauen, wird eine wesentlich höhere Spannung, nämlich die Versorgungsspannung U_v von 48V der Magnetspule 13 zugeführt. Beim Anlegen der Versorgungsspannung U_v an die Magnetspule 13 zu Beginn des Umschaltvorgangs steigt der Strom i durch die Wicklung gemäß der Gleichung $di/dt = U_v/L_{coil}$, woraus ersichtlich ist, dass der Anstieg des Spulenstroms i umso steiler ist, je größer die der Wicklung zugeführte Spannung U_v ist.

[0010] In der Praxis begrenzt die im Spulenwiderstand R_{coil} entstehende Verlustleistung die Schaltfrequenz des Magnetventils. Dies limitiert beispielsweise bei Hochdruck-Dieselsystemen ("Common Rail") mit Mehrfacheinspritzung die Anzahl der bei hohen Motordrehzahlen möglichen Einspritzvorgänge. In ähnlicher Weise stellt die bei einer Ventilsteuerung unter Verwendung derartiger Magnetventile entstehende Verlustleistung ebenfalls eine technische Herausforderung dar, die oftmals zusätzliche, teure Entwärmungsmaßnahmen erzwingt. Um im dargestellten Beispiel die Verlustleistung zu begrenzen wird eine unten noch detailliert beschriebene Rege-

lung des Spulenstroms für die Dauer des Strompulses durchgeführt.

[0011] Die Schaltung wird durch das Signal "Enable" aktiviert, welches beispielsweise von einem Mikrocontroller erzeugt wird. Hat dieses Freigabesignal bzw. Ansteuersignal Enable einen logischen High-Pegel so wird ein Transistor (FET) T2 eingeschaltet, dessen Gate unmittelbar mit dem Freigabesignal beaufschlagt wird. Außerdem wird, zumindest zu Beginn des Strompulses, auch ein Transistor (FET) T1 eingeschaltet, indem der High-Pegel auch an das Gate des Transistors T1 angelegt wird, und zwar mittelbar über ein UND-Glied 30, welches an einem Eingangsanschluss IN1 das Freigabesignal erhält und dessen Ausgang mit dem Gate von T1 verbunden ist. Die Transistoren T1 und T2 bilden eine Stromschalteinrichtung, welche in einem ersten Schaltzustand (T1 und T2 eingeschaltet) die Versorgungsspannung U_v an die Magnetspule 13 zuführen. In diesem Zustand fließt der Spulenstrom von der Versorgungsspannungsquelle über T1, Lcoil, Rcoil, T2 und schließlich über einen Spulenstrom-Messwiderstand Rsense zurück zur Versorgungsspannungsquelle. In einem zweiten Schaltzustand wird T1 durch Anlegen eines Low-Pegels an einem zweiten Eingangsanschluss IN2 des UND-Glieds 30 jedoch ausgeschaltet, so dass ein Freilaufstromkreis für den Spulenstrom vorgesehen wird. Der Pegel an dem zweiten Eingangsanschluss IN2 wird, wie unten näher beschrieben, in Abhängigkeit vom Spulenstrom angesteuert. In diesem Zustand fließt der Spulenstrom von einem Pol (0) der Versorgungsspannungsquelle über eine Diode D2, die Magnetspule 13, den Transistor T2 und schließlich den Messwiderstand Rsense zurück zu dem Pol 0 der Versorgungsspannungsquelle.

[0012] Die Stromschalteinrichtung T1, T2 dient als Stellglied im Rahmen einer Regelung des Spulenstroms i während der Dauer des Strompulses auf einen gewünschten Zielstrom (Sollwert) von hier 20A. Zu diesem Zweck wird ein Istwert des Spulenstroms als Spannungsabfall am Messwiderstand Rsense gemessen, mittels eines Differenzverstärkers Diff Amp verstärkt und die verstärkte Spannung mittels eines Komparators Komp mit einer Referenzspannung V_{ref} verglichen, dessen Ausgangssignal an den zweiten Eingang IN2 des UND-Glieds 30 gegeben wird.

[0013] Diese in Fig. 2 unten ersichtlichen Komponenten bilden also eine Sollwertvorgabeeinrichtung zur Vorgabe eines Sollwerts des Spulenstroms, eine Messeinrichtung zur Messung eines Istwerts des Spulenstroms sowie einen Regler zur Bildung eines Regelabweichungssignals aus Sollwert und Istwert des Spulenstroms und zur Ansteuerung der Stromschalteinrichtung.

[0014] Der Komparator Komp besitzt eine Hystere-

se, so dass sein Ausgang bei Überschreiten einer oberen Grenze $V_{ref} + V_{hyst}$ auf Low-Pegel schaltet und erst bei Unterschreiten einer unteren Grenze $V_{ref} - V_{hyst}$ wieder auf High zurückschaltet.

[0015] Zu Beginn des Strompulses ist der Spannungsabfall an Rsense klein. Der Strom steigt nun mit der Zeit an und der durch den Differenzverstärker Diff Amp verstärkte Spannungsabfall überschreitet die obere Grenze $V_{ref} + V_{hyst}$. Der Ausgang des Komparators Komp schaltet auf Low, woraufhin der Ausgang des UND-Glieds 30 ebenfalls auf Low schaltet. Dadurch wird der Transistor T1 ausgeschaltet. Der entsprechende zeitliche Verlauf des Spulenstroms i ist aus Fig. 3 ersichtlich (Anstiegsflanke).

[0016] Getrieben durch die Gegen-EMK (Elektromotorische Kraft) der Induktivität Lcoil wird das Potenzial an der Source des Transistors T1 sinken, bis (z. B. bei etwa -0,7V) die Freilaufdiode D1 leitend wird und den Spulenstrom übernimmt. Der Spulenstrom zirkuliert im Freilaufkreis (D2, Lcoil, Rcoil, T2, Rsense) weiterhin, wobei sein Wert langsam sinkt. Ist er soweit gefallen, dass der durch den Differenzverstärker verstärkte Spannungsabfall am Messwiderstand die untere Grenze $V_{ref} - V_{hyst}$ unterschreitet, so schaltet der Ausgang des Komparators wieder auf High, woraufhin, vermittelt über das UND-Glied 30 der Transistor T1 wieder einschaltet. Als Folge wird der Spulenstrom wieder steigen, bis der oben beschriebene Abschaltzeitpunkt abermals erreicht ist. Der Strom pendelt also periodisch zwischen der oberen und unteren Grenze hin und her, wie dies im mittleren Bereich der Fig. 3 ersichtlich ist.

[0017] Am Ende des Strompulses schaltet das Freigabesignal Enable nun auf Low, so dass die Transistoren T1 und T2 zugleich ausgeschaltet werden. Getrieben durch die Gegen-EMK der Induktivität Lcoil dreht sich die Spannung an der Magnetspule 13 um und es entsteht ein Stromfluss durch die Dioden D1 und D2 aus der Magnetspule 13 in die Versorgungsspannungsquelle. Die Induktivität entlädt sich (rezirkuliert) also in die Spannungsversorgung. In dieser Phase bricht die Gegen-EMK zusammen und die Spannung an der Magnetspule 13 sowie der Spulenstrom sinken rasch auf Null. Dies ist im rechten Teil von Fig. 3 ersichtlich (Abstiegsflanke).

[0018] Die Verlustleistung dieser Schaltungsanordnung wird wesentlich durch die Schaltzeiten des Transistors T1 bestimmt, da die Drain-Source-Spannung bei jedem Umschaltvorgang den Potenzialbereich von 0 bis 48V bei vollem Spulenstrom durchläuft. Die momentane Spitzen-Verlustleistung am Transistor T1 kann dabei beispielsweise etwa 1kW betragen. Einer Verringerung der Schaltzeiten zum Zwecke der Verringerung der Verlustleistung an T1 steht allerdings ein damit einhergehender Anstieg von EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit)-Stö-

nungen im Wege, da mit kürzer werdenden Schaltzeiten das erzeugte Frequenzspektrum zunehmend höherfrequente Anteile enthalten wird. Es gilt also, einen Kompromiss zwischen Verlustleistung (Erwärmung) und erzeugter EMV-Störung zu finden, wobei der Spielraum in beide Richtungen in der Regel sehr gering ist.

Aufgabenstellung

[0019] Dementsprechend ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die oben beschriebenen Nachteile zu beseitigen und insbesondere eine Schaltungsanordnung sowie ein Verfahren zur Ansteuerung eines bistabilen Magnetventils zu schaffen, welche eine geringe Verlustleistung ermöglichen bzw. bei einer bestimmten Verlustleistung größere Schaltzeiten ermöglichen.

[0020] Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 bzw. ein Verfahren nach Anspruch 7. Die abhängigen Ansprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

[0021] Bei der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung erfolgt eine zeitlich veränderliche Steuerung des Spulenstroms, nämlich eine Verringerung eines Sollwerts des Spulenstroms während des Strompulses. Der konkrete zeitliche Verlauf des Spulenstroms kann hierbei optimal an die Betriebserfordernisse des anzusteuern Magnetventils angepasst werden. Jedenfalls führt die Verringerung des Spulenstroms in der Praxis zu einer wesentlichen Verringerung der Verluste in der Ansteuerschaltung wie auch im Wicklungswiderstand der Magnetspule. Durch den über die Dauer eines Strompulses gemittelt und somit auch im gesamten Betrieb geringeren Strombedarf der Magnetspule sinken die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der verwendeten Versorgungsspannungsquelle. Dies ist beispielsweise dann von großer Bedeutung, wenn die Versorgungsspannungsquelle als ein Schaltregler realisiert ist, der dann wesentlich einfacher und kostengünstiger aufgebaut werden kann. Die Verlustleistung sowohl in der Ansteuerschaltung als auch in einem solchen Schaltregler zur Betriebsspannungsversorgung reduziert sich so wesentlich, dass dann beispielsweise ein beide Funktionen beinhaltendes Steuergerät für Kraftfahrzeuge realisiert werden kann, was eine vereinfachte und preiswertere Realisierung dieser beiden Funktionen bedeutet. Insbesondere kann eine sonst übliche Entwärmung dieses Geräts vergleichsweise einfach realisiert werden. Die geringe Verlustleistung macht es sogar möglich, die Funktionen der Ventilansteuerung sowie der Schaltstromversorgung (Schaltregler) auf einer einzigen Leiterplatte zu vereinen.

[0022] Mit der Erfindung wird ein überraschender weiterer Effekt erreicht, der darin besteht, dass die

„Entladephase“ (Rekuperation) der Wicklungsinduktivität der Magnetspule verkürzt wird. Dieser Effekt beruht darauf, dass der Spulenstrom am Ende des Strompulses den verringerten Sollwert (bzw. den noch weiter verringerten Sollwert) besitzt und mithin die Rekuperation bei einem vergleichsweise geringen Spulenstrom beginnt und dadurch früher endet. Dadurch wird vorteilhaft die minimale Zeitspanne zwischen einem Öffnen und Schließen des verwendeten Magnetventils (oder umgekehrt) verringert. Dies ist beispielsweise von großer Bedeutung, wenn das Magnetventil ein Kraftstoffeinspritzventil einer Brennkraftmaschine ist, weil dadurch die minimal mögliche Einspritzmenge verringert werden kann. Dies wiederum ist vorteilhaft im Rahmen einer Optimierung des Kraftstoffverbrauchs und/oder der Abgasemission von Brennkraftmaschinen.

[0023] Auch kann die Erfindung dazu eingesetzt werden, bei einer bestimmten zulässigen Verlustleistung relativ große Schaltzeiten bei einer getaktet betriebenen Spulenstromversorgung vorzusehen, wie diese beispielsweise mit einer Schaltungsanordnung nach Anspruch 2 bzw. einem Verfahren nach Anspruch 8 in einfacher Weise realisiert werden kann. Mit einer Verlangsamung solcher Schaltzeiten ist eine signifikante Verringerung der durch Schaltvorgänge hervorgerufenen EMV-Störungen verbunden.

[0024] Die Ausführungsformen gemäß Anspruch 3 bzw. Anspruch 9 optimieren die Ansteuerung insofern, als vorteilhaft eine im Wesentlichen vollständige Magnetisierung weichmagnetischen Magnetflussverstärkungsmaterials erzielt wird, obwohl der über die Strompulsdauer gemittelte Spulenstrom vergleichsweise gering ist. Bekanntlich genügt es zur magnetischen Sättigung solchen Materials und somit zur Gewährleistung der maximalen Remanenz, wenn diese Magnetisierung nur kurzzeitig durch das Magnetfeld der Spule hervorgerufen wird. Die gemäß dieser Ausführungsform nach Erreichen der im Wesentlichen vollständigen Magnetisierung vorgesehene Verringerung des Spulenstroms erfolgt bevorzugt auf einen verringerten Sollwert, bei dem die Stärke des dabei induzierten Magnetfelds unter der Sättigungsgrenze des verwendeten weichmagnetischen Materials liegt, insbesondere kleiner als 60% des Sättigungsmagnetfelds ist. Im einfachsten Fall handelt es sich bei dem verringerten Sollwert um einen Wert, der wenigstens für eine vorbestimmte Zeitspanne konstant ist.

[0025] Der Vorteil einer solchen Magnetisierung zu Beginn des Strompulses bleibt erhalten, auch wenn der Spulenstrom unmittelbar nach dem ersten Erreichen dieses Sollwerts abrupt auf einen niedrigeren Strom eingestellt wird, was vorteilhaft im Hinblick auf die Minimierung des durchschnittlichen Strombedarfs ist.

[0026] Die Ausführungsformen gemäß Anspruch 4 bzw. Anspruch 10 erlauben eine weitere Optimierung des Spulenstromverlaufs im Hinblick auf typische Betriebseigenschaften von bistabilen Magnetventilen. Bei dieser Ausführungsform ist vorgesehen, den bereits verringerten Sollwert des Spulenstroms nach Ablauf einer vorbestimmten Zeitspanne noch weiter zu verringern. Die Vorbestimmung der Zeitspanne kann hierbei dem Umstand Rechnung tragen, dass der Magnetanker eines Magnetventils beim Umschaltvorgang eine gewisse Zeit benötigt, um die neue Endposition im Magnetventil zu erreichen. Die vorbestimmte Zeitspanne entspricht bevorzugt dieser vom Magnetanker für dessen Verlagerung benötigten Zeit.

[0027] Falls eine Spulenstromregelung mit entsprechender Spulenstrommessung zur Ermittlung eines Istwerts des Spulenstroms vorgesehen ist, so wird diese ohnehin vorgesehene Strommessung bevorzugt zur Ableitung eines Triggersignals herangezogen, welches das erstmalige Erreichen des Sollwerts anzeigt und die Verringerung des Sollwerts auslöst.

[0028] Der Umstand, dass der Sollwert des Spulenstroms im Verlauf des Strompulses erstmals erreicht wird, wird in einer bevorzugten Ausführungsform mittels eines digitalen Speicherelements (z. B. Flip-Flop) gespeichert, beispielsweise durch Zufuhr des erwähnten Triggersignals an einen Eingang dieses digitalen Speicherelements, wobei zum Zurücksetzen des digitalen Speicherelements vorteilhaft die für den Beginn eines Strompulses charakteristische Flanke des Ansteuersignals (Freigabesignal) herangezogen werden kann.

[0029] Bei Verwendung einer Stromregelung für den Spulenstrom kann der Sollwert des Spulenstroms in einfacher Weise verringert werden, indem die Verstärkung eines Reglers und/oder die Referenz (mit welcher ein Spulenstrommesssignal verglichen wird) entsprechend verändert wird, beispielsweise umgeschaltet wird durch ein Ausgangssignal des erwähnten digitalen Speicherelements. Analoges gilt für die gegebenenfalls vorgesehene noch weitere Verringerung des Spulenstrom-Sollwerts, die bevorzugt durch ein digitales Zeitglied (z. B. Monoflop) ausgelöst werden kann.

[0030] Der noch weiter verringerte Sollwert ist bevorzugt so ausgelegt, dass die dabei induzierten magnetischen Haltekräfte den Magnetanker des verwendeten Magnetventils sicher in dessen Endposition halten, um etwa ein abermaliges Lösen (Prellen) des Ankers an einer üblicherweise vorgesehenen Anschlagfläche zu verhindern.

[0031] Wenn der bereits verringerte Sollwert nach Ablauf einer vorbestimmten Zeitspanne noch weiter verringert wird, so kann diese Zeitspanne in einfacher

Weise entweder mit der Aktivierung des Ansteuersignals oder mit dem erstmaligen Erreichen des ursprünglichen Sollwerts beginnen. Alternativ oder zusätzlich kann bei der Vorbestimmung dieser Zeitspanne wenigstens ein Messgrößensignal berücksichtigt werden. Ein solches Messgrößensignal kann beispielsweise als Ausgangssignal eines Mikrocontrollers vorgesehen sein und weitere Einflussgrößen berücksichtigen, welche die vom Magnetanker zur Verlagerung benötigte Zeit betreffen, wie etwa die Temperatur (und damit die Viskosität) eines Hydrauliköles, für welches das Magnetventil eine Passage öffnet und schließt.

[0032] Falls eine abrupte Verringerung des Sollwerts und/oder eine abrupte noch weitere Verringerung des Sollwerts vorgesehen ist, so werden hierzu in einer bevorzugten Ausführungsform Transistoren eines Typs verwendet, der identisch dem Typ von Transistoren ist, welche zur gesteuerten (geschalteten) Spulenstromversorgung herangezogen werden, beispielsweise CMOS-Transistoren. Diese Transistoren können wie erwähnt zum Umschalten der Verstärkung des Differenzverstärkers und/oder zur Umschaltung zwischen verschiedenen Referenzen für den Komparator herangezogen werden.

Ausführungsbeispiel

[0033] Die Erfindung wird nachfolgend lediglich beispielhaft mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen weiter beschrieben. Es stellen dar:

[0034] Fig. 1 ist eine schematische Darstellung eines bistabilen Magnetventils nach dem Stand der Technik,

[0035] Fig. 2 ist eine Schaltungsanordnung zur Ansteuerung eines bistabilen Magnetventils,

[0036] Fig. 3 ist eine Darstellung des zeitlichen Verlaufs des Spulenstroms, wie er sich mit der Schaltungsanordnung gemäß Fig. 2 ergibt,

[0037] Fig. 4 ist eine erfindungsgemäße Schaltungsanordnung zur Ansteuerung eines bistabilen Magnetventils, und

[0038] Fig. 5 ist eine Darstellung des zeitlichen Verlaufs des Spulenstroms, wie er sich bei der in Fig. 4 dargestellten Schaltungsanordnung ergibt.

[0039] Die Fig. 1, 2 und 3 zeigen ein herkömmliches Magnetventil, eine Ansteuerschaltung hierfür sowie den zeitlichen Verlauf des mit dieser Schaltung erzeugten Spulenstroms für die Dauer eines Strompulses zum Umschalten des Magnetventils. Diese Figuren wurden oben bereits ausführlich beschrieben und stellen den Ausgangspunkt des nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiels einer erfindungs-

gemäßen Schaltungsanordnung dar. Bei dieser nachfolgenden Beschreibung werden im Wesentlichen lediglich die Unterschiede zu der bereits beschriebenen Schaltungsanordnung (**Fig. 2**) bzw. dem sich daraus ergebenden Stromverlauf (**Fig. 3**) beschrieben und im Übrigen ausdrücklich auf diese vorangegangene Beschreibung verwiesen.

[0040] Die in **Fig. 4** dargestellte Schaltung funktioniert im Wesentlichen wie die bereits mit Bezug auf **Fig. 2** beschriebene Schaltung. Insbesondere erfolgt wieder eine Regelung des Spulenstroms mittels eines Differenzverstärkers Diff Amp und eines Komparators Komp, wobei die Dauer des gewünschten Strompulses wieder durch einen High-Pegel eines Freigabesignals (Ansteuersignal) Enable definiert wird.

[0041] Bei der Schaltung gemäß **Fig. 4** ist jedoch der Verstärkungsfaktor des Differenzverstärkers Diff Amp um den Faktor 2 erhöht und am Ausgang dieses Differenzverstärkers ein Spannungsteiler vorgesehen, der aus den Widerständen R4 und R5 gebildet ist und im vorliegenden Beispiel den erhöhten Verstärkungsfaktor gerade ausgleicht, wenn ein Transistor T4 eingeschaltet ist, was zu Beginn des Strompulses der Fall ist, so dass zu Beginn des Strompulses zunächst ein Anstieg des Spulenstroms auf den gleichen Sollwert von beispielsweise 20A erfolgt.

[0042] Ein weiterer Unterschied der in **Fig. 4** gezeigten Schaltung besteht darin, dass durch Einschalten eines Transistors T3 ein Spannungsteiler bestehend aus dem Widerstand R2 und einem zusätzlichen Widerstand R3 gebildet wird, welcher zu einer Verringerung derjenigen Spannung führt, mit welcher die vom Differenzverstärker verstärkte Messspannung verglichen wird.

[0043] Die Ansteuerung von Gate-Anschlüssen der Transistoren T3 und T4 erfolgt über Ausgangssignale eines Monoflops bzw. Flip-Flops. Das Gate von T4 ist mit einem nicht-invertierenden Ausgang Q des Flip-Flops verbunden und das Gate von T3 ist mit einem invertierenden Ausgang des Monoflops verbunden. Ein invertierender Eingangsanschluss Set des Flip-Flops ist mit dem Ansteuersignal beaufschlagt, wohingegen ein nichtinvertierender Eingang Trig des Monoflops mit diesem Ansteuersignal beaufschlagt wird. Ein invertierender Rücksetzanschluss Reset des Flip-Flops wird mit dem Ausgangssignal des Komparators Komp beaufschlagt.

[0044] Die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung funktioniert wie folgt: Das Freigabesignal Enable ist zunächst auf Low-Pegel. Über den invertierenden Setz-Eingang Set des Flip-Flops wird dessen Ausgang Q dabei auf High-Pegel gesetzt. Dadurch ist der Transistor T4 bereits zu Beginn des Strompulses eingeschaltet. Der Spannungsteiler R4, R5 ist da-

durch wirksam und das Ausgangssignal des Differenzverstärkers Diff Amp wird entsprechend abgeschwächt, wobei hier der Spannungsteiler so dimensioniert ist, dass diese Abschwächung gerade die erhöhte Verstärkung des Differenzverstärkers ausgleicht.

[0045] Zur Aktivierung der Schaltung schaltet das Freigabesignal Enable nun auf den High-Pegel. Es kommt dadurch zu dem in **Fig. 5** links dargestellten Anstieg des Spulenstroms i bis zum Erreichen des Zielstroms (20A). Hierbei übersteigt nun die Spannung am Eingang des Komparators Komp erstmals den Wert $V_{ref} + V_{hyst}$, so dass der Komparatorausgang auf den Low-Pegel schaltet, woraufhin das Flip-Flop über seinen invertierenden Rücksetzeingang Reset zurückgesetzt wird. Jetzt schaltet der Transistor T4 aus und der Spannungsteiler R4, R5 wird inaktiv.

[0046] Die erhöhte Verstärkung des Differenzverstärkers ist nun im Sinne einer Verringerung des Spulenstrom-Sollwerts wirksam. Es genügt nämlich ein geringerer Spannungsabfall am Messwiderstand R_{sense} , um am Komparatoreingang den Wert von $V_{ref} + V_{hyst}$ zu erreichen. Der Komparator wird jetzt also bei geringerem Spulenstrom bereits schalten. Sind R4 und R5 gleich groß, so ist das Verhältnis des ursprünglichen Spulenstrom-Sollwerts zum verringerten Spulenstrom-Sollwert etwa 2 zu 1, was einer abrupten Verringerung des Sollwerts von 20A auf 10A nach erstmaligem Erreichen des ursprünglichen Sollwerts von 20A entspricht. Dies ist im mittleren Bereich von **Fig. 5** ersichtlich, bei welchem der Strom bei einem Wert von etwa 10A pendelt, der Strom in diesem Bereich also auf etwa 10A geregelt wird.

[0047] Der Low-High-Wechsel des Freigabesignals Enable hat jedoch auch das Monoflop getriggert. Während dessen Zeitkonstante (metastabile Phase) ist sein invertierender Ausgang Q auf Low-Pegel und der Transistor T3 ist somit ausgeschaltet. Nach Ablauf der Zeitkonstante wechselt der invertierende Ausgang Q des Monoflops jedoch wieder auf den High-Pegel und schaltet dadurch den Transistor T3 ein. Dadurch wird der weitere Spannungsteiler R2, R3 im Sinne einer noch weiteren Verringerung des Spulenstrom-Sollwerts wirksam, indem die für den Komparator maßgebliche Schaltspannung auf einen kleineren Wert (als V_{ref}) abgesenkt wird. Dies hat zur Folge, dass der Komparator Komp nun bei einem noch kleineren Spulenstrom schaltet und der Spulenstrom dementsprechend auf einen noch niedrigeren Sollwert von etwa 5A geregelt wird, wie dies in **Fig. 5** rechts ersichtlich ist. Dieses Verhältnis des verringerten Sollwerts zum noch weiter verringerten Sollwert von etwa 2 zu 1 wird hierbei durch gleiche Werte von R2 und R3 erreicht. Die Zeitkonstante des Monoflops ist hierbei so ausgelegt, dass sie der Verlagerungsphase (Flugphase) des Magnetankers der Magnet-

spule 13 entspricht. Alternativ kann die Ansteuerung des Transistors T3 auch von einem Mikrocontroller über ein weiteres Steuersignal erfolgen, was in Fig. 4 gestrichelt dargestellt ist. Das Monoflop entfällt bei dieser alternativen Ausführungsform.

[0048] Mit Bezug auf Fig. 5 lassen sich bei der Umschaltung des Magnetventils folgende Funktionsphasen zuordnen:

Eine Phase "Magnetisieren" dient zur Magnetisierung von Flussverstärkungsteilen des Magnetventils durch einen Spulenstrom, der als Sättigungsstrom zu bezeichnen ist. Dabei wird das weichmagnetische Material bevorzugt vollständig gesättigt. Im dargestellten Beispiel beträgt dieser erste Stromwert 20A.

[0049] Eine Phase "Verlagern" entspricht der Flugphase des Magnetankers (Schaltvorgang des Ventils). Während dieser Phase liegt der Spulenstrom deutlich unterhalb des Sättigungsstroms und beträgt im dargestellten Beispiel 10A. Diese Phase dient der eigentlichen Betätigung des Ventils. Dieser zweite Stromwert wird bevorzugt während der gesamten Flugphase des Magnetankers von einer Endposition zur anderen Endposition aufrecht erhalten. Am Ende dieser Phase trifft der Magnetanker mit erheblicher Geschwindigkeit auf eine Anschlagfläche des Magnetventils auf, so dass die Gefahr eines Prellens besteht.

[0050] Die Phase "Halten" ist eine Haltephase nach dem Erreichen der Endposition zum Abbau der Bewegungsenergie des Magnetankers. Der in diesem Beispiel verwendete dritte Stromwert von 5A dient dazu, den Magnetanker solange an der Anschlagfläche zu halten, bis die Bewegungsenergie abgebaut ist. Dieser Stromwert ist also so groß gewählt, dass ein Prellen des Ventils vermieden wird.

[0051] Während einer Phase "Rekupieren" wird die Wicklungsinduktivität der Magnetspule in die Versorgungsspannung entladen, d. h. der Spulenstrom abgebaut. Diese Phase kann beginnen, wenn die Bewegungsenergie des Magnetankers vollständig abgebaut wurde ("Halten"-Phase).

[0052] Nach dem kompletten Ausschalten des Spulenstroms wird der Magnetanker durch eine magnetische Remanenzkraft in seiner Endposition festgehalten. Diese Remanenz wird bereits während der "Magnetisieren"-Phase erzeugt und bleibt auch nach Verringerung des Spulenstroms von 20A auf 10A im Material. Bei einer druckkompensierten Konstruktion des Magnetventils übt auch der hydraulische Systemdruck keine Kraft auf den Magnetanker aus, so dass der Magnetanker solange in seiner Endposition bleibt, bis die zweite Magnetspule des Ventils durch einen neuerlichen Strompuls aktiviert wird. Diese erneute Ansteuerung des Magnetventils kann erfolgen, sobald die Rekuperationsphase beendet ist. Das Ma-

gnetventil ist dann für einen erneuten Umschaltvorgang bereit.

Patentansprüche

1. Schaltungsanordnung zur Ansteuerung eines bistabilen Magnetventils, bei dem eine Magnetspule mit einem elektrischen Strompuls zu versorgen ist, um das Magnetventil von einem ersten stabilen Ventilzustand in einen zweiten stabilen Ventilzustand umzuschalten, umfassend

- eine Versorgungsspannungsquelle zur Bereitstellung einer Versorgungsspannung (U_v),
- eine von der Versorgungsspannungsquelle gespeiste und für die Dauer des Strompulses durch ein eingegebenes Ansteuersignal (Enable) aktivierbare Stromversorgungseinrichtung zum Erzeugen eines durch die Magnetspule fließenden Spulenstroms (i), wobei der Spulenstrom auf einen Sollwert eingestellt wird,
- wobei Umstellmittel (Flip-Flop, T4, Monoflop, T3) vorgesehen sind, um den Sollwert des Spulenstroms (i) während des Strompulses zu verringern.

2. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, umfassend

- eine Stromregeleinrichtung zum Regeln des Spulenstroms (i) auf den Sollwert, umfassend
 - a) eine Stromschalteinrichtung (T1, T2), welche in einem ersten Schaltzustand die Versorgungsspannung (U_v) an die Magnetspule zuführt und in einem zweiten Schaltzustand einen Freilaufstromkreis für den Spulenstrom (i) vorsieht,
 - b) eine Sollwertvorgabeeinrichtung (V_{ref} , T3, R2, R3) zur Vorgabe des Sollwerts des Spulenstroms (i),
 - c) eine Messeinrichtung (R_{sense} , Diff Amp, T4, R4, R5) zur Messung eines Istwerts des Spulenstroms (i),
 - d) einen Regler (Komp) zur Bildung eines Regelabweichungssignals aus Sollwert und Istwert des Spulenstroms und zur entsprechenden Ansteuerung der Stromschalteinrichtung (T1, T2),
- wobei die Stromregeleinrichtung die Umstellmittel (Flip-Flop, T4, Monoflop, T3) aufweist, um den Sollwert des Spulenstroms (i) beim ersten Erreichen dieses Sollwerts nach Beginn des Strompulses zu verringern.

3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Schaltungsanordnung dazu ausgebildet ist, den Sollwert des Spulenstroms (i) derart vorzugeben, dass bei Erreichen dieses Sollwerts eine im Wesentlichen vollständige Magnetisierung weichmagnetischen Materials erzielt wird, welches zur Verstärkung des von der Magnetspule hervorgerufenen Magnetflusses in dem Magnetventil angeordnet ist.

4. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, 2 oder 3, wobei die Umstellmittel (Flip-Flop, T4, Monoflop, T3) dazu ausgebildet sind, den Sollwert des Spulenstroms beim ersten Erreichen dieses Soll-

werts abrupt auf einen niedrigeren Sollwert zu verringern.

5. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Umstellmittel (Flip-Flop, T4, Monoflop, T3) dazu ausgebildet sind, den verringerten Sollwert nach Ablauf einer vorbestimmten Zeitspanne noch weiter zu verringern, insbesondere abrupt noch weiter zu verringern.

6. Schaltungsanordnung nach Anspruch 5, ausgebildet zur Vorbestimmung der Zeitspanne in Abhängigkeit von wenigstens einem Messgrößensignal.

7. Verfahren zur Ansteuerung eines bistabilen Magnetventils, bei dem eine Magnetspule mit einem elektrischen Strompuls zu versorgen ist, um das Magnetventil von einem ersten stabilen Ventilzustand in einen zweiten stabilen Ventilzustand umzuschalten, umfassend

- Bereitstellung einer Versorgungsspannung (U_v),
- Stromversorgung aus der Versorgungsspannung (U_v) für die Dauer des Strompulses zum Erzeugen eines durch die Magnetspule fließenden Spulenstroms (i), wobei der Spulenstrom auf einen Sollwert eingestellt wird,
- Verringerung des Sollwerts des Spulenstroms während des Strompulses.

8. Verfahren nach Anspruch 7, umfassend

- Stromregelung zum Regeln des Spulenstroms (i) auf den Sollwert, wobei die Stromregelung umfasst:
 - a) Zuführung der Versorgungsspannung (U_v) an die Magnetspule in einem ersten Schaltzustand und Bildung eines Freilaufstromkreises für den Spulenstrom (i) in einem zweiten Schaltzustand,
 - b) Vorgabe des Sollwerts des Spulenstroms (i),
 - c) Messung eines Istwerts des Spulenstroms (i),
 - d) Bildung eines Regelabweichungssignals aus Sollwert und Istwert des Spulenstroms (i) und entsprechende Umschaltung zwischen dem ersten Schaltzustand und dem zweiten Schaltzustand,
- Verringerung des Sollwerts des Spulenstroms (i) beim ersten Erreichen dieses Sollwerts nach Beginn des Strompulses.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, wobei der Sollwert des Spulenstroms (i) derart vorgegeben wird, dass bei Erreichen dieses Sollwerts eine im Wesentlichen vollständige Magnetisierung weichmagnetischen Materials erzielt wird, welches zur Verstärkung des von der Magnetspule hervorgerufenen Magnetflusses in dem Magnetventil angeordnet ist.

10. Verfahren nach Anspruch 7, 8 oder 9, wobei der Sollwert des Spulenstroms (i) beim ersten Erreichen dieses Sollwerts abrupt auf einen niedrigeren Sollwert verringert wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis

10, wobei der verringerte Sollwert nach Ablauf einer vorbestimmten Zeitspanne noch weiter verringert wird, insbesondere abrupt noch weiter verringert wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die Zeitspanne in Abhängigkeit von wenigstens einem Messgrößensignal vorbestimmt wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

FIG 1 Stand der Technik

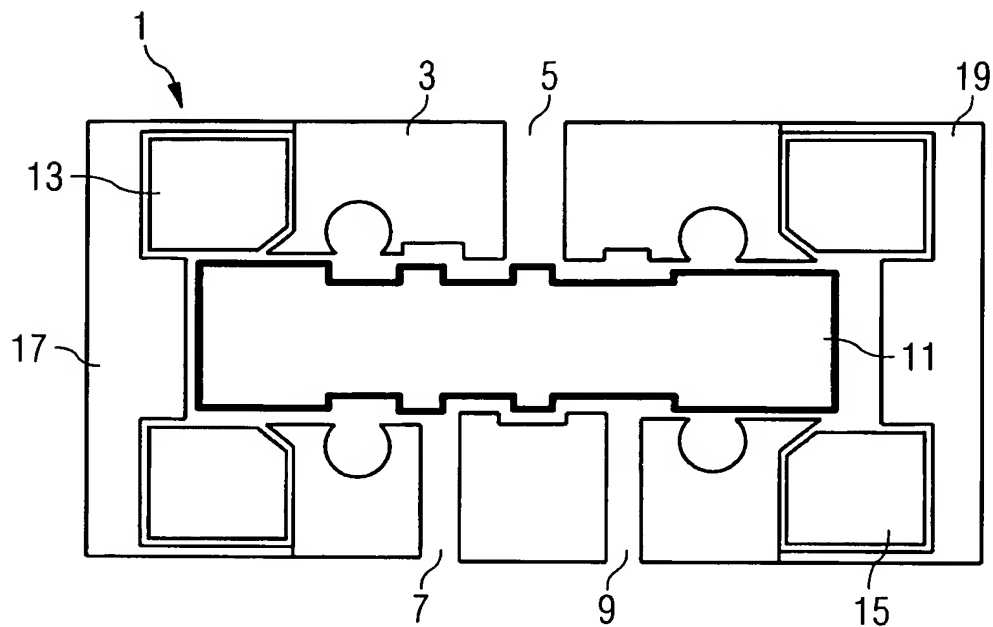


FIG 2

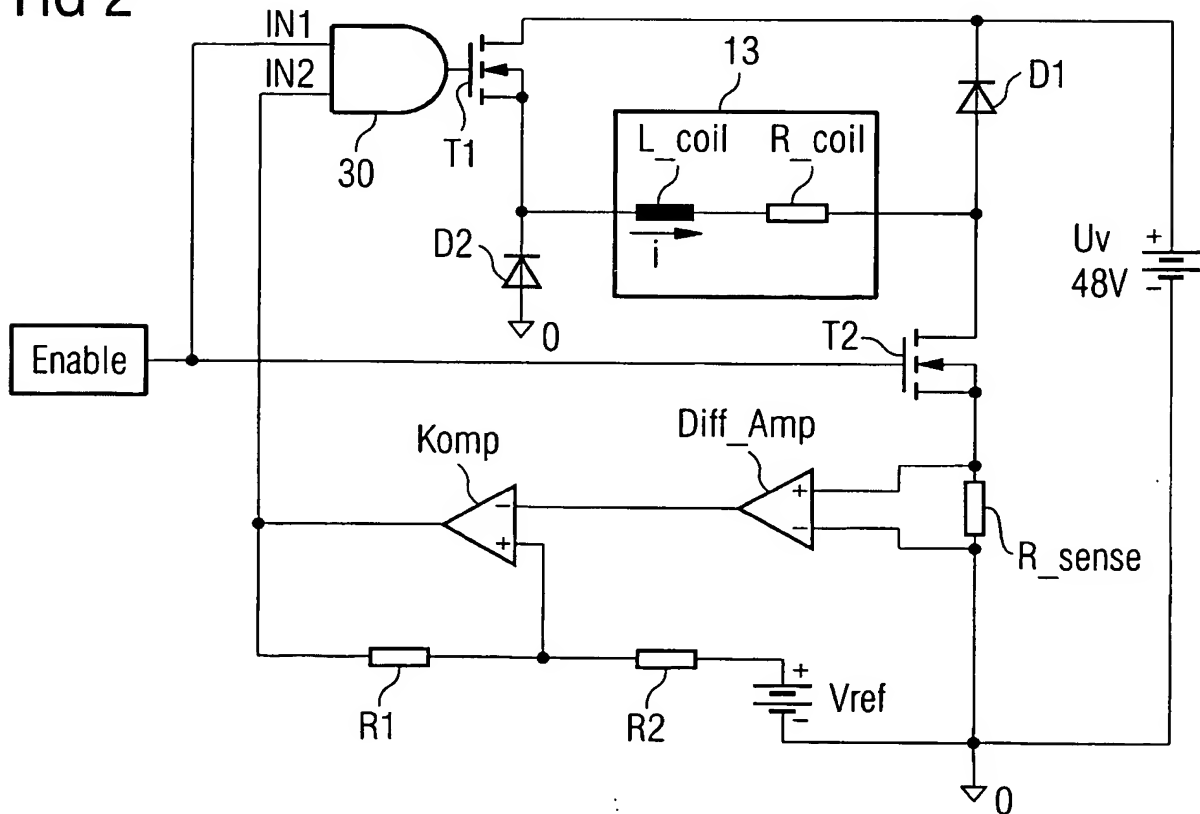


FIG 3

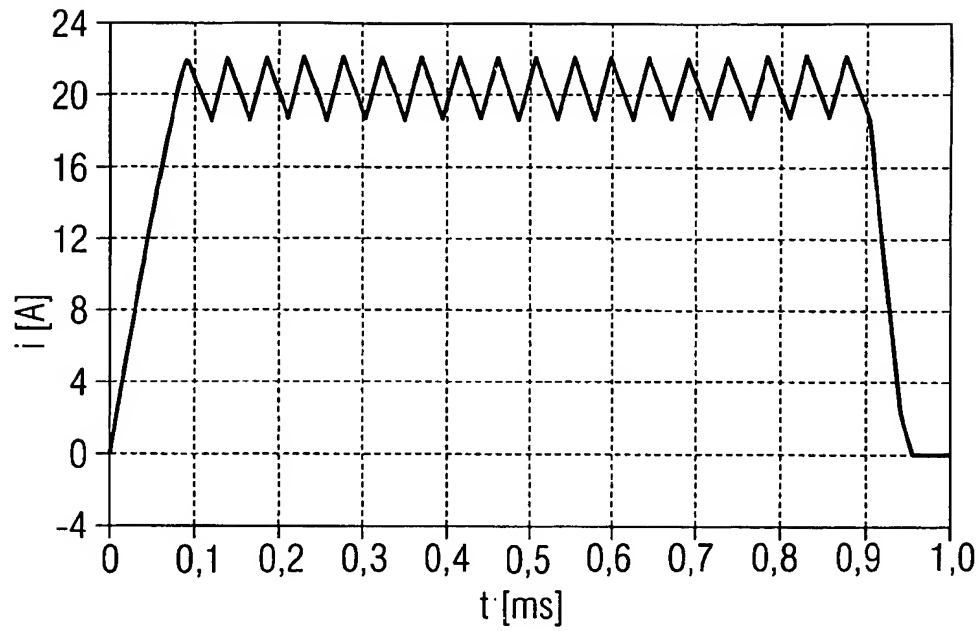


FIG 4

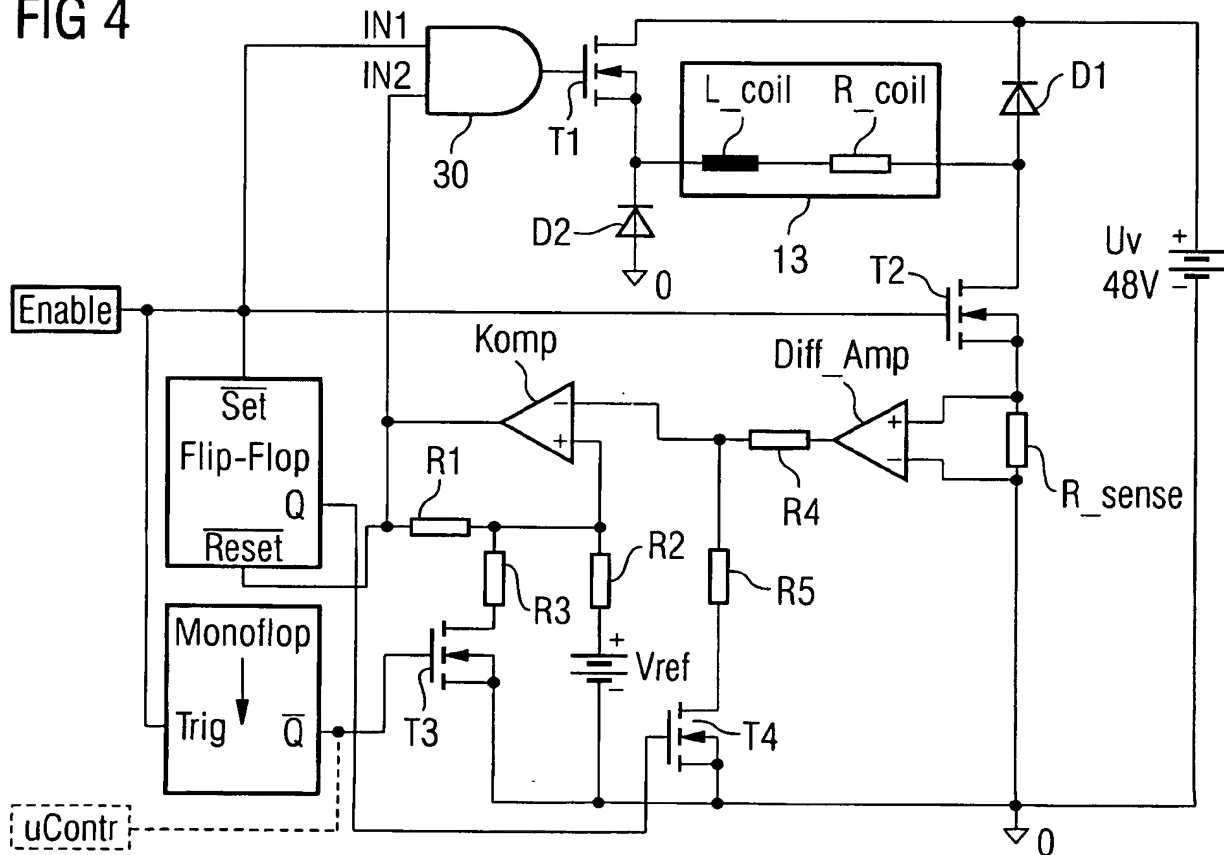


FIG 5

